

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-292458

(43)Date of publication of application : 08.10.2002

(51)Int.Cl.

B22D 27/04

B22D 21/00

B22D 25/04

B22D 27/08

(21)Application number : 2001-097711

(71)Applicant : KYOCERA CORP

(22)Date of filing : 29.03.2001

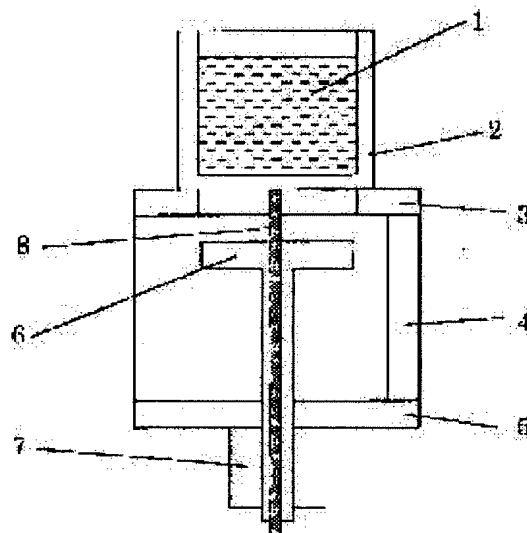
(72)Inventor : YAMATANI MUNEYOSHI

## (54) SILICON CASTING DEVICE AND SILICON CASTING METHOD

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve a problem that it is difficult to make even the temperature gradient in an ingot from the initial period of solidification to the complete solidification.

**SOLUTION:** In the silicon casting device provided with a mold for filling a silicon mold liquid, a pedestal for placing the mold, and a cooling plate for cooling the bottom of the mold, the cooling plate is made to vertically move independently of the pedestal.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

## [Claim(s)]

[Claim 1] Said cooling plate is silicon casting equipment with which it is characterized by said plinth moving up and down independently in silicon casting equipment equipped with the mold into which silicon melt is put, the plinth which lays this mold, and the cooling plate which cools this mold pars basilaris ossis occipitalis.

[Claim 2] Silicon casting equipment according to claim 1 characterized by the flat-surface configuration of said cooling plate having the base configuration and abbreviation same configuration of said mold.

[Claim 3] Silicon casting equipment according to claim 1 or 2 characterized by said cooling plate rotating synchronizing with rotation of said plinth.

[Claim 4] Silicon casting equipment according to claim 1 characterized by the ability to change the flow rate of the cooling water which flows in said cooling plate.

[Claim 5] The silicon casting approach characterized by putting silicon melt into mold, and making said silicon melt solidify gradually, moving said cooling plate in the silicon casting approach of making silicon melt solidifying gradually, carrying out cooling from the pars basilaris ossis occipitalis of mold with the cooling plate arranged in the pars basilaris ossis occipitalis of mold so that the pars basilaris ossis occipitalis of said mold may be approached.

[Claim 6] The silicon casting approach according to claim 5 characterized by making it move so that the solid-liquid interface and the abbreviation equal distance of this silicon may be maintained and said cooling plate may approach the pars basilaris ossis occipitalis of said mold, while said silicon melt congeals gradually from the pars basilaris ossis occipitalis of said mold.

[Claim 7] The silicon casting approach characterized by to make said silicon melt solidify gradually, moving [ put silicon melt into mold, detect the amount of cooling with the thermocouple which penetrated said cooling plate and was formed in the pars basilaris ossis occipitalis of said mold in the silicon casting approach of making silicon melt solidifying gradually, carrying out cooling from the pars basilaris ossis occipitalis of mold with the cooling plate arranged in the pars basilaris ossis occipitalis of mold, and ] said cooling plate based on this detection result so that the pars basilaris ossis occipitalis of said mold may be approached.

[Claim 8] It is silicon casting equipment with which the thermocouple for estimating the amount of cooling from said mold base penetrates said cooling plate in silicon casting equipment equipped with the mold into which silicon melt is put, the plinth which lays this mold, and the cooling plate which cools this mold pars basilaris ossis occipitalis, it is prepared in the base section of said mold, and it is characterized by for this thermocouple to move said cooling plate and plinth in the direction of a vertical independently.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the silicon casting equipment and the silicon casting approach which cool silicon melt and an one direction is made to solidify gradually.

[0002]

[Description of the Prior Art] A polycrystal silicon solar cell is a solar battery currently manufactured, and the quality of the polycrystalline silicon used as a substrate influences the conversion efficiency of a solar battery greatly. [ today most ] The quality of polycrystalline silicon is greatly influenced by the stacking tendency and defect density in the number of the grain boundaries of a crystal (area), the character of a grain boundary, and crystal grain. These are for shortening the carrier life and mobility in a solar battery, and reducing the energy conversion efficiency of a solar battery. Therefore, in order to raise the energy conversion efficiency of the solar battery using polycrystalline silicon, the broad research on the aforementioned item and a manufacturing technology need to be established.

[0003] Generally in casting of silicon, the unidirectional solidification process is adopted. In this unidirectional solidification process, heating at a heater the melt which carried out teeming to mold, carry out cooling from the pars basilaris ossis occipitalis of mold with a cooling plate, give a temperature gradient in the vertical direction of silicon melt, silicon melt is made to cool and solidify gradually from a pars basilaris ossis occipitalis, and a crystal is grown up upwards. To a cooling plate, inert gas or water is poured as a refrigerant, and it enables it to cool a mold pars basilaris ossis occipitalis.

[0004] In this unidirectional solidification process, although it solidifies at a big rate in the coagulation early stages of silicon since a solid-liquid interface is close to a cooling plate, the thermal resistance resulting from solid phase thickness increases as coagulation advances and a solid-liquid interface progresses up, the cooling capacity from a mold pars basilaris ossis occipitalis declines, and a coagulation rate becomes small. Therefore, when the refrigeration capacity of a cooling plate located in a mold pars basilaris ossis occipitalis is fixed equipment, there is a problem that the temperature gradient generated in an ingot by full coagulation from the early stages of coagulation cannot be made into homogeneity.

[0005] Then, the attempt which controls the thermal stress induction rearrangement which cools the inside of an ingot to homogeneity and is generated in an ingot is made variously until now.

[0006] For example, there is a method of changing the flow rate of the refrigerant gas which flows into cooling space, such as a cooling plate, or cooling water according to the progress condition of coagulation. Among these, there is a problem that the refrigerant gas which has big thermal conductivity in the approach of changing the flow rate of a refrigerant gas is required for a large quantity, and the large-scale equipment which enables big flow rate change in the approach of using cooling water is required.

[0007] Moreover, it is almost the case which has area with the larger cooling plate currently used from the former than the area of a mold pars basilaris ossis occipitalis. Although the plinth which lays mold originates in serving as a cooling plate, this will cool the whole mold at the same time it cools an ingot pars basilaris ossis occipitalis, and the problem that sufficient one direction freezing characteristic is not acquired generates it.

[0008] Moreover, it asks for the relation of the coagulation rate and the amount of heat dissipation which a solid-liquid interface moves beforehand, and in case the dissolved silicon is made to solidify, according to the relation currently called for beforehand, there is also a method of changing the amount of heat dissipation to time amount so that a coagulation rate may become fixed.

[0009] However, by this approach, since temperature up of the mold pars basilaris ossis occipitalis is carried out to near 1200-1400 degree C in early stages of casting although it is necessary to carry out near of the cooling water flow rate to 0 when controlling at a small coagulation rate, by the above-mentioned approach, since a cooling plate and mold have touched, if the flow rates of cooling water run short, refrigeration capacity will decline, and there is a problem that casting is substantially impossible.

[0010] Moreover, the cooling layer of a crucible pars basilaris ossis occipitalis is made into hollow structure, and there is also the approach of inserting the heat-insulating element piece which interrupts radiation to a centrum. However, by this approach, receipts and payments of a heat-insulating element piece have only two kinds, "close is not", and cannot perform delicate adjustment, but have the problem that control is difficult. [ "close being" or ] Moreover, although the method of installing the heat-insulating element structure of a \*\*\* type in cooling space is also proposed, when the heat-insulating element structure in the condition of having folded up in this case exists in cooling space and enlarges the amount of heat dissipation, there is a problem of becoming obstructive.

[0011] Moreover, a thermocouple is laid under the susceptor which contacts a mold pars basilaris ossis occipitalis, and measuring the temperature of a crucible pars basilaris ossis occipitalis is also considered. However, even if it is substantially impossible to insert a thermocouple from width through the clearance between susceptor and a cooling plate in order that a cooling plate may move to the location of the arbitration of the direction of a vertical from the location in contact with the base of mold and it can do, in case it will rotate mold or you will make it go up and down, the problem of a thermocouple being damaged immediately and it becoming impossible to measure the temperature occurs.

[0012] This invention is made in view of the conventional technique in which it is difficult to make the temperature gradient in an ingot until it results [ from the early stages of coagulation ] in full coagulation into homogeneity, and aims at offering the silicon casting equipment to which the cooling capacity of a mold pars basilaris ossis occipitalis can be substantially changed with progress of a

coagulation interface, and the silicon casting approach.

[0013]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned object, with the silicon casting equipment concerning claim 1, said cooling plate is characterized by said plinth moving up and down independently in silicon casting equipment equipped with the mold into which silicon melt is put, the plinth which lays this mold, and the cooling plate which cools this mold pars basilaris ossis occipitalis.

[0014] It is desirable for the flat-surface configuration of said cooling plate to have the base configuration and abbreviation same configuration of said mold with the above-mentioned silicon casting equipment.

[0015] Moreover, it is desirable for said cooling plate to rotate with the above-mentioned silicon casting equipment synchronizing with rotation of said plinth.

[0016] Moreover, it is desirable that the flow rate of the cooling water which flows in said cooling plate can be changed with the above-mentioned silicon casting equipment.

[0017] The silicon casting approach concerning claim 5 puts silicon melt into mold, and it is characterized by making said silicon melt solidify gradually, moving said cooling plate in the silicon casting approach of making silicon melt solidifying gradually, carrying out cooling from the pars basilaris ossis occipitalis of mold with the cooling plate arranged in the pars basilaris ossis occipitalis of mold, so that the pars basilaris ossis occipitalis of said mold may be approached.

[0018] While said silicon melt congeals gradually from the pars basilaris ossis occipitalis of said mold by the above-mentioned silicon casting approach, it is desirable to move said cooling plate so that the pars basilaris ossis occipitalis of said mold may be approached so that the equal distance may be substantially maintained with the solid-liquid interface of this silicon.

[0019] Moreover, by the above-mentioned silicon casting approach, put silicon melt into mold, and silicon melt is set to the silicon casting approach made to solidify gradually, carrying out cooling from the pars basilaris ossis occipitalis of mold with the cooling plate arranged in the pars basilaris ossis occipitalis of mold. The amount of cooling is detected with the thermocouple which penetrated said cooling plate and was formed in the pars basilaris ossis occipitalis of said mold, and it is characterized by making said silicon melt solidify gradually, moving said cooling plate based on this detection result, so that the pars basilaris ossis occipitalis of said mold may be approached.

[0020] With the silicon casting equipment concerning claim 8, in silicon casting equipment equipped with the mold into which silicon melt is put, the plinth which lays this mold, and the cooling plate which cools this mold pars basilaris ossis occipitalis, the thermocouple for estimating the amount of cooling from said mold base penetrates said cooling plate, it is prepared in the base section of said mold, and this thermocouple is characterized by for said cooling plate and plinth to move in the direction of a vertical independently.

[0021]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained to a detail based on an accompanying drawing. drawing showing 1 operation gestalt of the silicon casting equipment which drawing 1 requires for this invention — it is — 1 — melt or an ingot, and 2 — for five, as for a cooling plate and 7, a plinth support plate and 6 are [ mold and 3 / a plinth and 4 / a revolution rise-and-fall shaft and 8 ] thermocouples a plinth support side.

[0022] The silicon casting equipment of this invention mainly consists of mold 2 with the square shape configuration holding silicon melt 1, a plinth 3 which lays mold 2, and a cooling plate 6 installed in order to cool only the pars basilaris ossis occipitalis of mold 2. Mold 2 and a cooling plate 6 are usually surrounded by two or more heat insulation members (un-illustrating), in order to make it easy to control temperature.

[0023] Mold 2 consists of a graphite etc. and the base configuration is carrying out the square shape.

[0024] A cooling plate 6 moves in the direction of a vertical independently in a plinth 3. This cooling plate 6 has the configuration and area which cool only the field where silicon melt 1 touches the pars basilaris ossis occipitalis in mold 2. Moreover, a cooling plate 6 can perform rotation of a plinth 3, and rotation which synchronized thoroughly. That is, the base configuration of mold 2 is a square shape, and since the base of mold 2 and the relative position of a cooling plate 6 will shift if a synchronization cannot be taken to both revolution, since the configuration of a cooling plate 6 is the same as the base configuration of mold 1, it is to apply to termination from coagulation initiation and for a heat-dissipation location and the amount of heat dissipation to change. The circulating water flow which flows the inside of a cooling plate 6 can be changed to arbitration.

[0025] Plinth support side 4 for securing the rise-and-fall tooth space of the plinth support plate 5 with which the revolution rise-and-fall shaft 7 for carrying out the revolution rise and fall of the mold 1 substantially was established, and a cooling plate 6 is prepared in the lower part of a plinth 3.

[0026] Although the approach of acting as the monitor of the difference of the inflow temperature of the cooling water which generally flows the inside of a cooling plate 6, and runoff temperature as an approach of acting as the monitor of the amount of cooling from the base of mold 2 is effective In order that the radiation ratio from the base of mold 2 to the side attachment wall of a cooling centrum may increase rather than the amount of radiative heat transfer from the base of mold 2 to a cooling plate 6 so that distance of a cooling plate 6 and the base of mold 2 is enlarged, The approach of surveying temperature of the base of mold 2 and detecting the temperature transition is the most effective rather than it acts as the monitor of the circulating water temperature which flows the inside of a cooling plate 6.

[0027] In this invention, the thermometry of the location of arbitration is made possible regardless of revolution / rise-and-fall condition of mold 2 by the thermocouple 8 installed in order to estimate the amount of cooling from the base of mold 2 penetrating the center of a cooling plate 6 in the direction of a vertical, and moving in the vertical direction independently with actuation of a cooling plate 6 or a plinth 3.

[0028] For example, after filling 20kg silicon melt to the mold 2 of a 230mmx230mmx200mmh dimension, it cools and solidifies gradually from a melt pars basilaris ossis occipitalis by the cooler style which has the above-mentioned description, and one direction coagulation is carried out toward the upper part from a pars basilaris ossis occipitalis. Under the present circumstances, since the top face of mold 2 is opened and it tends to get cold compared with other fields, it needs to solidify, installing and heating a resistance heating heater (un-illustrating) above mold 2.

[0029] In the unidirectional solidification process into which cool silicon melt from the pars basilaris ossis occipitalis of mold 2, it is made to solidify gradually, and a crystal is grown up upwards, since a solid-liquid interface is close to a cooling plate 6, it solidifies at a big rate the early stages of coagulation, but since the thermal resistance resulting from solid phase thickness increases as coagulation advances and a solid-liquid interface progresses up, the cooling capacity from a pars basilaris ossis occipitalis declines, and a

coagulation rate becomes small.

[0030] Therefore, in order to make into homogeneity the temperature gradient generated in an ingot from the early stages of coagulation to full coagulation, it adjusts starting coagulation, where the cooling plate 6 of working is fully separated from the base of mold 2 at the time of coagulation initiation, shortening distance of a cooling plate 6 and the base of mold 2 gradually with progress of a coagulation interface, and enlarging the amount of cooling from the base of mold 2 etc.

[0031] If a cooling plate 6 contacts the base of mold 2 thoroughly, in order to carry out cooling of the heat transfer by radiation to a cooling plate 6 by direct heat conduction from the base of mold 2 till then from the condition which was dominance, especially delicate adjustment is required just before contact. It is substantially effective to adjust the cooling water flow rate which flows the inside of a cooling plate 6 there in order to adjust finely the amount of cooling from the base of mold 2.

[0032] Since the base of a cooling plate 6 and mold 2 is separated at the time of coagulation initiation, the measurement edge of the thermocouple 8 which penetrates the center of a cooling plate 6 is going up to the location in contact with the base of mold 2. Also in case coagulation advances after that and the location of a cooling plate 6 rises gradually, by continuing contacting the base of mold 2 in the edge of the thermocouple 8 which acts as the monitor of the base of mold 2, it can act as the monitor of the base temperature change of mold 2 on real time.

[0033] It is more exact to survey temperature of the base of mold 2 and to detect the temperature transition rather than it acts as the monitor of the circulating water temperature which flows the inside of a cooling plate 6, in order that the radiation ratio from the base of mold 2 to the side attachment wall of a cooling centrum may increase rather than the amount of radiative heat transfer from the base of mold 2 to a cooling plate 6 so that the distance of a cooling plate 6 and the base of mold 2 becomes large.

[0034] In addition, while the base of a cooling plate 6 and mold 2 is separated, the location of a thermocouple 8 can be dropped to the location of arbitration at the event of arbitration, and the ambient temperature of the part can also be measured.

[0035]

[Effect of the Invention] As mentioned above, according to the silicon casting equipment concerning claim 1, since a cooling plate moves up and down independently with a plinth, silicon melt can be made to be able to solidify, always keeping the temperature gradient of a solid-liquid interface constant, and a quality ingot can be formed.

[0036] Moreover, according to the silicon casting equipment concerning claim 2, since the flat-surface configuration of a cooling plate has the base configuration and abbreviation same configuration of mold, only from the base side of mold, cooling can be carried out and precision can improve unidirectional solidification.

[0037] Moreover, according to the silicon casting equipment concerning claim 3, since a cooling plate rotates synchronizing with rotation of a plinth, even when the base configuration of mold and the configuration of a cooling plate are square shapes, it can apply to termination from coagulation initiation, and a heat-dissipation location and the amount of heat dissipation can be kept constant.

[0038] Moreover, according to the silicon casting equipment concerning claim 4, the flow rate of the cooling water which flows in a cooling plate can be changed, and precision can improve it more unidirectional solidification.

[0039] Moreover, by the silicon casting approach concerning claim 5, since silicon melt is made to solidify gradually, moving a cooling plate so that the pars basilaris ossis occipitalis of said mold may be approached, silicon melt can be made to be able to solidify, always keeping the temperature gradient of a solid-liquid interface constant, and a quality ingot can be formed.

[0040] Moreover, the amount of cooling is detected with the thermocouple which penetrated the cooling plate and was formed in the pars basilaris ossis occipitalis of mold by the silicon casting approach concerning claim 7, and since silicon melt is made to solidify gradually, moving a cooling plate based on this detection result so that the pars basilaris ossis occipitalis of mold may be approached, it becomes possible to estimate the migration condition of the coagulation interface of silicon with a sufficient precision from temperature transition of the pars basilaris ossis occipitalis of mold.

[0041] With the silicon casting equipment concerning claim 8, since the thermocouple for estimating the amount of cooling from a mold base penetrates said cooling plate, it is prepared in the direction of a vertical and this thermocouple moves said cooling plate and plinth in the direction of a vertical independently, it becomes possible to estimate the migration condition of the coagulation interface of silicon with a sufficient precision from temperature transition of the pars basilaris ossis occipitalis of mold.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing 1 operation gestalt of the silicon cooling system concerning this invention.

[Description of Notations]

1 [ .... A plinth support side, 5 / .... A plinth support plate, 6 / .... A cooling plate, 7 / .... A revolution rise-and-fall shaft, 8 / .... Thermocouple ] .... Silicon melt or an ingot, 2 .... Mold, 3 .... A plinth, 4

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-292458  
(P2002-292458A)

(43) 公開日 平成14年10月8日 (2002.10.8)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
B 2 2 D	27/04	B 2 2 D	F
	21/00		Z
	25/04		Z
	27/08		

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願2001-97711(P2001-97711)

(22) 出願日 平成13年3月29日 (2001.3.29)

(71) 出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市伏見区竹田島羽殿町6番地

(72) 発明者 山谷 宗義

滋賀県八日市市蛇溝町長谷野1166番地の6

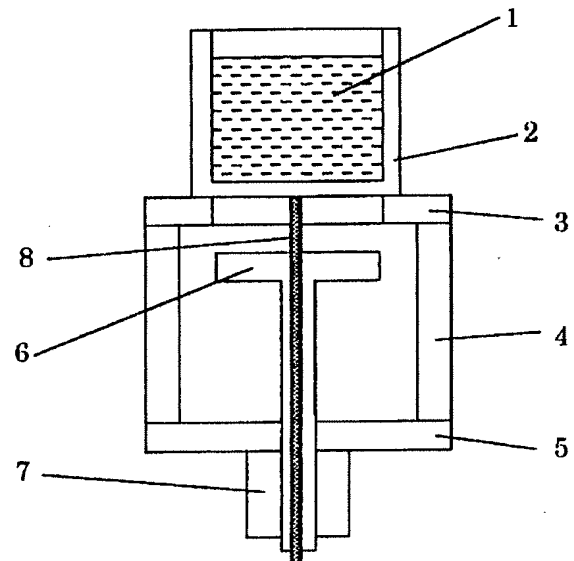
京セラ株式会社滋賀八日市工場内

(54) 【発明の名称】 シリコン鑄造装置およびシリコン鑄造方法

(57) 【要約】

【課題】 凝固初期から完全凝固に至るまでのインゴット内の温度勾配を均一にすることが困難であるという問題があった。

【解決手段】 シリコン融液を入れる鑄型と、この鑄型を載置する台座と、この鑄型底部を冷却する冷却板とを備えたシリコン鑄造装置において、前記冷却板が前記台座とは独立して上下動するようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコン融液を入れる鑄型と、この鑄型を載置する台座と、この鑄型底部を冷却する冷却板とを備えたシリコン鑄造装置において、前記冷却板が前記台座とは独立して上下動することを特徴とするシリコン鑄造装置。

【請求項2】 前記冷却板の平面形状が前記鑄型の底面形状と略同一形状を有することを特徴とする請求項1に記載のシリコン鑄造装置。

【請求項3】 前記冷却板が前記台座の回転運動に同期して回転することを特徴とする請求項1または請求項2に記載のシリコン鑄造装置。

【請求項4】 前記冷却板中に流れる冷却水の流量を変化させることができることを特徴とする請求項1に記載のシリコン鑄造装置。

【請求項5】 シリコン融液を鑄型に入れて、鑄型の底部に配設した冷却板で鑄型の底部から抜熱しながらシリコン融液を徐々に凝固させるシリコン鑄造方法において、前記冷却板を前記鑄型の底部に近づくように移動させながら前記シリコン融液を徐々に凝固させることを特徴とするシリコン鑄造方法。

【請求項6】 前記シリコン融液が前記鑄型の底部から徐々に凝固するとともに、このシリコンの固液界面と略等距離を維持するように前記冷却板が前記鑄型の底部に近づくように移動させることを特徴とする請求項5に記載のシリコン鑄造方法。

【請求項7】 シリコン融液を鑄型に入れて、鑄型の底部に配設した冷却板で鑄型の底部から抜熱しながらシリコン融液を徐々に凝固させるシリコン鑄造方法において、前記冷却板を貫通して前記鑄型の底部に設けた熱電対で抜熱量を検知し、この検知結果に基づいて前記冷却板を前記鑄型の底部に近づくように移動させながら前記シリコン融液を徐々に凝固させることを特徴とするシリコン鑄造方法。

【請求項8】 シリコン融液を入れる鑄型と、この鑄型を載置する台座と、この鑄型底部を冷却する冷却板とを備えたシリコン鑄造装置において、前記鑄型底面からの抜熱量を見積もるための熱電対が前記冷却板を貫通して前記鑄型の底面部に設けられ、この熱電対が前記冷却板と台座とは独立して鉛直方向に移動することを特徴とするシリコン鑄造装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、シリコン融液を冷却して一方に徐々に凝固させるシリコン鑄造装置とシリコン鑄造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】 多結晶シリコン太陽電池は、今日最も多く製造されている太陽電池であり、基板として用いる多結晶シリコンの品質

が太陽電池の変換効率に大きく影響する。多結晶シリコンの品質は、結晶の粒界の数（面積）や粒界の性格及び結晶粒内の配向性や欠陥密度に大きく左右される。これらは太陽電池内のキャリア寿命や移動度を短縮させ、太陽電池のエネルギー変換効率を低下させるためである。そのため、多結晶シリコンを用いた太陽電池のエネルギー変換効率を向上させるためには、前記の項目についての幅広い研究と製造技術の確立が必要である。

【0003】シリコンの鑄造では一方凝固法が一般に採用されている。この一方凝固法では、鑄型に注漏した融液をヒーターで加熱しながら、冷却板で鑄型の底部から抜熱し、シリコン融液の上下方向へ温度勾配を付与し、シリコン融液を底部から徐々に冷却・凝固させて結晶を上方へと成長させていく。冷却板には冷媒として不活性ガスまたは水を流して鑄型底部を冷却できるようにする。

【0004】この一方凝固法では、シリコンの凝固初期においては固液界面が冷却板に近いために大きな速度で凝固するが、凝固が進行して固液界面が上方に進むにつれて固層厚みに起因する熱抵抗が増加し、鑄型底部からの抜熱能力が低下して凝固速度が小さくなる。従って、鑄型底部に位置する冷却板の冷却能力が一定な装置の場合、凝固初期から完全凝固までにインゴット内に発生する温度勾配を均一にすることができないという問題がある。

【0005】そこで、インゴット内を均一に冷却してインゴット内に発生する熱応力誘起転位を抑制する試みがこれまで種々なされている。

【0006】例えば冷却板等の冷却空間に流入する冷媒ガスや冷却水の流量を凝固の進行具合によって変化させる方法がある。このうち、冷媒ガスの流量を変化させる方法においては大きな熱伝導率を有する冷媒ガスが大量に必要であり、また冷却水を使用する方法においては大きな流量変化を可能とする大規模な装置が必要であるという問題がある。

【0007】また、従来から使用されている冷却板は、鑄型底部の面積よりも大きい面積を有するものが殆どである。これは鑄型を載置する台座が冷却板を兼ねていることに起因するが、インゴット底部を冷却すると同時に鑄型全体を冷却することになり、十分な一方凝固性が得られないという問題が発生する。

【0008】また、固液界面が移動する凝固速度と熱放出量との関係を予め求めておき、融解したシリコンを凝固させる際に、凝固速度が一定になるように、予め求められている関係に従って、熱放出量を時間に対して変化させる方法もある。

【0009】ところが、この方法では、小さな凝固速度でコントロールする場合、冷却水流量を0に近くする必要があるが、鑄型底部は鑄造初期には1200～1400℃付近まで昇温するので、上記方法では冷却板と鑄型



が接しているために冷却水の流量が不足していると冷却能力が低下し、実質的に鑄造が出来ないという問題がある。

【0010】また、るつば底部の冷却層を中空構造にし、中空部に輻射を遮る断熱体片を挿入する方法もある。ところが、この方法では、断熱体片の出し入れは“入っている”又は“入っていない”の2通りしかなく、微妙な調整ができず、制御が困難であるという問題がある。また、折畳式の断熱体構造物を冷却空間内に設置する方法も提案されているが、この場合、折り畳んだ状態の断熱体構造物が冷却空間に存在し、熱放出量を大きくする場合には邪魔になるという問題がある。

【0011】また、鑄型底部に当接する支持台に熱電対を埋設し、るつば底部の温度を測定することも考えられる。ところが、冷却板が鑄型の底面と接触する位置から鉛直方向の任意の位置へ移動するため、熱電対を支持台と冷却板の間にある隙間を通して横から挿入することは実質的に不可能であり、たとえてきても鑄型を回転したり昇降させる際に熱電対がすぐに破損し、測温できなくなるという問題が発生する。

【0012】本発明は、凝固初期から完全凝固に至るまでのインゴット内の温度勾配を均一にすることが困難であるという従来技術に鑑みてなされたものであり、凝固界面の進行と共に鑄型底部の抜熱能力を実質的に変化させることができるシリコン鑄造装置とシリコン鑄造方法を提供することを目的とするものである。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1に係るシリコン鑄造装置では、シリコン融液を入れる鑄型と、この鑄型を載置する台座と、この鑄型底部を冷却する冷却板とを備えたシリコン鑄造装置において、前記冷却板が前記台座とは独立して上下動することを特徴とする。

【0014】上記シリコン鑄造装置では、前記冷却板の平面形状が前記鑄型の底面形状と略同一形状を有することが望ましい。

【0015】また、上記シリコン鑄造装置では、前記冷却板が前記台座の回転運動に同期して回転することが望ましい。

【0016】また、上記シリコン鑄造装置では、前記冷却板中に流れる冷却水の流量を変化させることができることが望ましい。

【0017】請求項5に係るシリコン鑄造方法は、シリコン融液を鑄型に入れて、鑄型の底部に配設した冷却板で鑄型の底部から抜熱しながらシリコン融液を徐々に凝固させるシリコン鑄造方法において、前記冷却板を前記鑄型の底部に近づくように移動させながら前記シリコン融液を徐々に凝固させることを特徴とする。

【0018】上記シリコン鑄造方法では、前記シリコン融液が前記鑄型の底部から徐々に凝固するとともに、こ

のシリコンの固液界面と実質的に等距離を維持するように前記冷却板を前記鑄型の底部に近づくように移動させることが望ましい。

【0019】また、上記シリコン鑄造方法では、シリコン融液を鑄型に入れて、鑄型の底部に配設した冷却板で鑄型の底部から抜熱しながらシリコン融液を徐々に凝固させるシリコン鑄造方法において、前記冷却板を貫通して前記鑄型の底部に設けた熱電対で抜熱量を検知し、この検知結果に基づいて前記冷却板を前記鑄型の底部に近づくように移動させながら前記シリコン融液を徐々に凝固させることを特徴とする。

【0020】請求項8に係るシリコン鑄造装置では、シリコン融液を入れる鑄型と、この鑄型を載置する台座と、この鑄型底部を冷却する冷却板とを備えたシリコン鑄造装置において、前記鑄型底面からの抜熱量を見積もるための熱電対が前記冷却板を貫通して前記鑄型の底面に設けられ、この熱電対が前記冷却板と台座とは独立して鉛直方向に移動することを特徴とする。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を添付図面に基づき詳細に説明する。図1は本発明に係るシリコン鑄造装置の一実施形態を示す図であり、1は融液もしくはインゴット、2は鑄型、3は台座、4は台座支持側、5は台座支持板、6は冷却板、7は回転昇降軸、8は熱電対である。

【0022】本発明のシリコン鑄造装置は、シリコン融液1を保持する角型形状を有した鑄型2と、鑄型2を載置する台座3と、鑄型2の底部のみを冷却する目的で設置された冷却板6とで主として構成される。鑄型2と冷却板6は温度を制御を行ないやすくするために、通常は複数の断熱部材（不図示）で包囲する。

【0023】鑄型2は例えば黒鉛などから成り、その底面形状は例えば角形をしている。

【0024】冷却板6は、台座3とは独立して鉛直方向に移動する。この冷却板6はシリコン融液1が鑄型2内の底部と接する面のみを冷却する形状と面積を有する。また、冷却板6は、台座3の回転運動と完全に同期した回転運動を行うことができる。つまり、鑄型2の底面形状が角型であり、冷却板6の形状も鑄型1の底面形状と同じであるため、両者の回転に同期が取れないと鑄型2の底面と冷却板6の相対位置がずれるために、凝固開始から終了にかけて熱放出場所や熱放出量に変化するためである。冷却板6中を流れる冷却水量は任意に変化させることができる。

【0025】台座3の下部には、鑄型1を実質的に回転昇降させるための回転昇降軸7が設けられた台座支持板5と、冷却板6の昇降スペースを確保するための台座支持側4が設けられている。

【0026】鑄型2の底面からの抜熱量をモニターする方法としては、一般的に冷却板6中を流れる冷却水の流

入温度と流出温度との差をモニターする方法が有効であるが、冷却板6と鑄型2の底面との距離を大きくする程、鑄型2の底面から冷却板6への放射熱伝達量よりも鑄型2の底面から冷却中空部の側壁への放射比率が上がるため、冷却板6中を流れる冷却水温度をモニターするよりも、鑄型2の底面の温度を実測してその温度推移を検知する方法が最も有効である。

【0027】本発明では、鑄型2の底面からの抜熱量を見積もるために設置される熱電対8が冷却板6の中央を鉛直方向に貫通し、冷却板6や台座3の動作とは独立して上下方向に移動することにより、鑄型2の回転・昇降状態とは無関係に任意の位置の温度測定を可能とする。

【0028】例えば230mm×230mm×200mm寸法の鑄型2に例えば20kgのシリコン融液を満たした後、上記特徴を有する冷却機構により融液底部から徐々に冷却・固化して底部から上部に向かって一方凝固させる。この際、鑄型2の上面は開放されているために他の面に比べると冷え易いことから、鑄型2の上方に抵抗加熱ヒーター（不図示）を設置して加熱しながら凝固を行う必要がある。

【0029】シリコン融液を鑄型2の底部から冷却して徐々に凝固させて結晶を上方へと成長させていく一方凝固法では、凝固初期は固液界面が冷却板6に近いために大きな速度で凝固するが、凝固が進行して固液界面が上方に進むにつれて固層厚みに起因する熱抵抗が増加するため、底部からの抜熱能力が低下して凝固速度が小さくなる。

【0030】従って、凝固初期から完全凝固までインゴット内に発生する温度勾配を均一にするためには、凝固開始時には可動式の冷却板6を鑄型2の底面から十分に離れた状態で凝固を開始し、凝固界面の進行と共に徐々に冷却板6と鑄型2の底面との距離を短くしていき、鑄型2の底面からの抜熱量を大きくする等の調整を行う。

【0031】冷却板6が完全に鑄型2の底面に接触すると、それまで放射による熱伝達が優位であった状態から鑄型2の底面から冷却板6に直接熱伝導で抜熱されるようになるため、接触間隙には特に微妙な調整が必要である。そこで、例えば、鑄型2の底面からの抜熱量を細かく調整する目的で冷却板6のなかを流れる冷却水流量を調整することは実質的に有効である。

【0032】凝固開始時には冷却板6と鑄型2の底面が離れているため、冷却板6の中央を貫通する熱電対8の測定端は鑄型2の底面に接触する位置まで上昇している。その後凝固が進行して冷却板6の位置が徐々に上昇する際にも鑄型2の底面をモニターする熱電対8の端を鑄型2の底面に接触し続けることによって、鑄型2の底面温度変化をリアルタイムでモニターすることができる。

【0033】冷却板6と鑄型2の底面との距離が大きくなる程、鑄型2の底面から冷却板6への放射熱伝達量よ

りも鑄型2の底面から冷却中空部の側壁への放射比率が上がるため、冷却板6中を流れる冷却水温度をモニターするよりも、鑄型2の底面の温度を実測してその温度推移を検知する方が正確である。

【0034】なお、冷却板6と鑄型2の底面が離れている間は、任意の時点で熱電対8の位置を任意の位置に下降させその部分の雰囲気温度を測定することもできる。

【0035】

【発明の効果】以上のように、請求項1に係るシリコン鑄造装置によれば、冷却板が台座とは独立して上下動することから、固液界面の温度勾配を常に一定に保ちながらシリコン融液を凝固させることができ、高品質なインゴットを形成することができる。

【0036】また、請求項2に係るシリコン鑄造装置によれば、冷却板の平面形状が鑄型の底面形状と略同一形状を有することから、鑄型の底面側だけから抜熱することができ、精度よく一方方向性凝固させることができる。

【0037】また、請求項3に係るシリコン鑄造装置によれば、冷却板が台座の回転運動に同期して回転することから、鑄型の底面形状と冷却板の形状が角型の場合でも、凝固開始から終了にかけて熱放出場所や熱放出量を一定に保つことができる。

【0038】また、請求項4に係るシリコン鑄造装置によれば、冷却板中に流れる冷却水の流量を変化させることができ、より精度よく一方方向性凝固させることができる。

【0039】また、請求項5に係るシリコン鑄造方法では、冷却板を前記鑄型の底部に近づくように移動させながらシリコン融液を徐々に凝固させることから、固液界面の温度勾配を常に一定に保ちながらシリコン融液を凝固させることができ、高品質なインゴットを形成することができる。

【0040】また、請求項7に係るシリコン鑄造方法では、冷却板を貫通して鑄型の底部に設けた熱電対で抜熱量を検知し、この検知結果に基づいて冷却板を鑄型の底部に近づくように移動させながらシリコン融液を徐々に凝固させることから、シリコンの凝固界面の移動具合を鑄型の底部の温度推移から精度良く見積もることが可能となる。

【0041】請求項8に係るシリコン鑄造装置では、鑄型底面からの抜熱量を見積もるための熱電対が前記冷却板を貫通して鉛直方向に設けられ、この熱電対が前記冷却板と台座とは独立して鉛直方向に移動することから、シリコンの凝固界面の移動具合を鑄型の底部の温度推移から精度良く見積もることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るシリコン冷却装置の一実施形態を示す図である。

【符号の説明】

1・・・シリコン融液もしくはインゴット、2・・・鑄型、

(5)

特開2002-292458

8

3……台座、4……台座支持側、5……台座支持板、6 \* \* ……冷却板、7……回転昇降軸、8……熱電対

【図1】

